Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 273- 285

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۲۸۵-۲۷۳

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی فرمول بستنی وانیلی با کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی به روش سطح پاسخ

دلارام حامی[1]- محمد گلی[2]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

چکیده

کینوا به‌عنوان یک ترکیب عملگرا، از نظر محتوی پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین و متیونین، اسیدهای چرب ضروری و اسیدهای چرب غیراشباع، مواد معدنی مانند آهن، کلسیم، روی، مس، فیبر رژیمی و ویتامین‌ها و مواد آنتی‌اکسیدانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در پژوهش حاضر از آرد کینوا با سطح جایگزینی با شیر خشک بدون چربی (صفر تا صد درصد)، روغن هیدروژنه گیاهی (۴/۵ تا ۸/۵ درصد) و صمغ پانیسول (۰/۲۵ تا ۰/۶۵ درصد) جهت دستیابی به فرمول بهینه تولید بستنی وانیلی استفاده گردید. بهینه‌سازی فرمولاسیون بر اساس پارامترهای تغییرات حجم، سرعت ذوب و خواص بافتی (سفتی و چسبندگی) توسط روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با ۶ نقطه مرکزی و دو تکرار (α=۲) در سایر نقاط صورت گرفت. نتایج نشان داد که برای روند تغییرات تغییرات حجم، مدل خطی پیشنهاد شد و اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف صمغ پانیسول، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و اثر مجذور سطوح مختلف صمغ بر فاکتور تغییرات حجم معنی‌دار بود($P<0/05$). جایگزینی آرد کینوا در فرمولاسیون بستنی، تأثیر قابل توجهی بر میزان تغییرات حجم، سرعت ذوب و سفتی بافت داشت. فرمول بهینه پیشنهادی برای سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی بترتیب ۲۵ و ۵۳ درصد، روغن هیدروژنه گیاهی ۸/۵ و ۸/۲ درصد و صمغ پانیسول ۰/۳۹ و ۰/۴۸ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: صمغ پانیسول، روغن هیدروژنه گیاهی، افزایش حجم، خواص بافتی، سرعت ذوب شدن، خواص حسی

مقدمه

بستنی یکی از محبوب‌ترین فرآورده‌های لبنی در ایران و بسیاری از کشورهای جهان به‌شمار می‌آید و از طرفداران بسیاری در گروه‌های مختلف سنی برخوردار می‌باشد. بستنی یک دیسپرسیون غذایی پیچیده می‌باشد که در آن سلول‌های هوا درون فاز نیمه منجمد مایع پراکنده شده‌اند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴). بستنی شامل مخلوطی از اجزای شیر، شیرین‌کننده، پایدارکننده، امولسیفایر و مواد عطر و طعم دهنده می‌باشد. کیفیت محصول نهایی نه تنها به شرایط فرآوری و یا بازده انجماد وابسته است بلکه اجزاء تشکیل‌دهنده، مقدار هوای محبوس شده و میزان کریستال‌های یخ نیز نقش مهمی در آن دارند. ساختار فیزیکی بستنی بر ویژگی‌های ذوب شدن (سرعت ذوب شدن) و بافت (سفتی) بستنی اثر قابل توجهی می‌گذارد (موس و هارتل، ۲۰۰۴). بهبود و گسترش ساختار بستنی به ماکرومولکول‌های موجود در مخلوط بستنی، چربی شیر، پروتئین و کربوهیدارت‌ها نسبت داده می‌شود (آدپا و همکاران، ۲۰۰۰).

مصرف غذاهای فراسودمند راهکاری نوین جهت رساندن ترکیبات مفید به بدن در قالب رژیم غذایی است. با گسترش تجارت این گونه مواد غذایی، تمایل مصرف‌کنندگان نسبت به استفاده از آنها در رژیم غذایی افزایش یافته است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده از فرآورده‌های طبیعی و گیاهی هم، به عنوان جایگزین بخشی از ماده جامد بدون چربی مانند تاثیر جایگزینی مواد جامد کل بستنی با بادام بر ویژگی‌های فیزیکی و حس بستنی (میرچولی برازق و مظاهری تهرانی، ۱۳۸۹) و هم، به‌عنوان یک ترکیب فراسودمند در بستنی مانند تولید بستنی فراسودمند حاوی پودر جلبک *دونالیلا سالینا* (سلیم‌پور اردی و همکاران، ۱۳۹۸) مورد تحقیق قرار گرفته است. کینوا به عنوان یک پروتئین با ارزش بیولوژیکی بالا می‌تواند در محصولات مختلف غذایی به جهت غنی‌سازی و تأثیر مثبت آن بر خواص فیزیکی و حسی محصول به‌کار گرفته شود . گیاه کینوا[3] از گیاهان دو لپه‌ای و

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(*-نویسنده مسئول: Email: mgolifood@yahoo.com)

3 *Chenopodium quinoa* Willd

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.85221

خانواده تاج خروسیان و زیرخانواده اسفناجیان[1] به‌عنوان یک گیاه پهن برگ (با ارتفاع ۳-۱ متر) توسط هندی‌ها به‌عنوان یک گیاه مقدس با نام "دانه مادر" شناخته می‌شود. مصرف این گیاه به‌عنوان یک شبه غله توسط بومیان منطقه آند در آمریکای جنوبی قدمت طولانی دارد (James, 2009). کینوا از نقطه نظر ویژگی‌های تغذیه‌ای بسیار مورد توجه است. دانه کینوا فاقد گلوتن و غنی از نشاسته است و از این‌رو مصرف آن توسط بیماران سلیاک مناسب است. دانه کینوا شامل ۲۰-۱۴ درصد پروتئین با ترکیب کامل آمینواسیدها است، که عمدتاً غنی از اسیدهای آمینه ضروری مانند متیونین و لیزین می‌باشد. کینوا منبع غنی از مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم، فسفر، آهن، روی، منیزیم و سلنیوم) است. از نظر محتوی لیپیدها، کینوا دارای اسیدهای چرب اشباع نشده به‌ویژه لینولئیک (۵۲٪) و اولئیک (۲۵٪) است .علاوه براین، شامل توکوفرول‌ها و کاروتنوئیدها است که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی می‌باشد (Ruales and Nair, 1993; Zhang *et al.*, 2014).

تاکنون عملکرد جایگزین‌کننده‌های بسیاری در فرمولاسیون بستنی‌های مختلف توسط محققان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در همین راستا، مهدیان و همکاران (۲۰۱۱) اثر کاربرد آرد کامل سویا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی را مورد بررسی قرار دادند. آنها اعلام کردند که به دلیل توانایی جذب آب بالاتر پروتئین‌های سویا در مقایسه با پروتئین‌های شیر، با افزایش درصد آرد سویا در ترکیب بستنی وزن مخصوص نمونه‌ها کاهش و ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافت. درویسوگلو و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر جایگزینی ماده جامد بدون چربی شیر با کنسانتره پروتئین سویا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی را مورد مطالعه قرار دادند. با افزایش میزان کنسانتره پروتئین سویا، ویسکوزیته نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که می‌تواند به دلیل محتوی پروتئین بالاتر سویا در مقایسه با پروتئین شیر باشد. رسولی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که حضور اسپیرولینا در فرمول بستنی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش ویسکوزیته و مقاومت به ذوب و کاهش تغییرات حجم بستنی سنتی می‌شود. آنها دلیل این مشاهده را به محتوی بالای پروتئین، خاصیت امولسیفایری و جذب آب ریز جلبک اسپیرولینا نسبت دادند. اکسون (۲۰۰۹) گزارش کرد که افزودن اسپیرولینا به بستنی موجب می‌شود تا در طول فرایند هموژنیزاسیون، حجم کف افزایش یابد. در واقع افزودن جایگزین کننده‌های غنی از پروتئین به بستنی می‌تواند باعث افزایش حجم کف، افزایش حجم هوای به دام افتاده در داخل مخلوط بستنی و بهبود هوادهی گردد. کودینا و همکاران (۲۰۱۶)، ویژگی‌های رئولوژیکی و ریز ساختاری ماست غنی شده با کینوا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که افزودن آرد کینوا به شیر منجر به افزایش اسیدیته، کاهش pH و تسریع تشکیل ژل می‌شود. بررسی‌های رئولوژیکی نیز نشان داد که نمونه‌های ماست دارای رفتار رقیق شونده با برش هستند. در غلظت بالاتر از ۱٪ آرد کینوا، اندیس رفتار جریانی کاهش، در حالیکه ضریب پایداری و ویسکوزیته ظاهری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه براین، تصاویر میکروسکوپی نشان داد که در غلظت‌های بالای کینوا، مقاومت ماست به آب‌اندازی کاهش یافت. صمغ پانیسول به‌عنوان یک ترکیب امولسیفایر و پایدارکننده با بار الکتریکی منفی، دارای مخلوطی از مونو و دی‌گلیسرید، سلولز، صمغ گوار و کاراجینان تولیدی از شرکت دنیسکو دانمارک موجب بهبود ساختار بستنی می‌گردد (Gheisari *et al.*, 2016). هدف از پژوهش حاضر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (صفر تا صد درصد)، روغن هیدروژنه گیاهی (۴/۵ تا ۸/۵ درصد) و صمغ پانیسول (۰/۲۵ تا ۰/۶۵ درصد) جهت دستیابی به فرمول بهینه تولید بستنی وانیلی با کمک روش سطح پاسخ بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مصرفی جهت تولید بستنی از جمله شیر پاستوریزه (۳/۴ درصد چربی) از شرکت دامداران تهران، شیر خشک بدون چربی از شرکت آرین لبن نقش جهان اصفهان، آرد سفید کینوا (رطوبت ۸ درصد، پروتئین ۱۵/۸ درصد، چربی ۵/۵ درصد، کربوهیدرات۶۲ درصد، خاکستر ۴/۷ درصد و فیبر ۴ درصد) از شرکت کیان فود تهران، شکر از شرکت قند اصفهان، روغن هیدروژنه گیاهی از شرکت آفتاب بهشهر، وانیل از شرکت شانگال فوکسین چین و صمغ پانیسول از شرکت دنیسکو دانمارک تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از تنظیم نسبت ترکیبات در فرمولاسیون نمونه‌های مختلف بستنی، میزان مواد اولیه هر فرمول توزین شد. سپس شیر تا حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سایر اجزاء که از قبل کاملا با هم مخلوط شده بودند، به آرامی به آن اضافه و مخلوط شد. سپس مخلوط در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه پاستوریزه گردید. پس از اتمام عملیات پاستوریزاسیون، مخلوط سریعاً در حمام آب و یخ خنک و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. بعد از مرحله رسیدن، مخلوط در یک دستگاه بستنی‌ساز ۱/۵ لیتری خانگی (Delmonti, Maker Dl-370, Italy) مرحله پیش انجماد یک ساعته و سپس در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد مرحله انجماد ۱۲ ساعته را سپری کرد. نمونه‌های بستنی درون ظروف پلاستیکی درپوش‌دار بسته بندی و جهت طی دوره سخت شدن، در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به‌منظور بهینه‌یابی شرایط فرایند، متغیرهای مستقل A (درصد جایگزینی آرد کینوا)، B

---
1 Chenopodiaceae

(درصد روغن هیدروژنه گیاهی) و C (درصد صمغ پانیسول) در پنج سطح (جدول ۱) انتخاب شدند. برای بدست آوردن نقاط بهینه، ۳۴ آزمایش توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت پیشنهاد گردید (جدول ۲)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه گیری آنها نیز بیان شده است.

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها

متغیرهای مستقل	کد و سطوح				
	-α		۰		+α
جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (A، ٪)	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
روغن هیدروژنه گیاهی (B، ٪)	۴/۵	۵/۵	۶/۵	۷/۵	۸/۵
صمغ پانیسول (C، ٪)	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۶۵

اندازه‌گیری تغییرات حجم (آور ران)

در ارزیابی میزان تغییرات حجم نمونه‌ها از ظروفی با حجم مشخص استفاده شد. پس از انجماد محصول در بستنی‌ساز، از مخلوط نمونه گیری صورت گرفت. سپس نمونه مورد نظر توزین گردید و افزایش حجم بر حسب درصد با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\text{آور ران}(\%) = \frac{(\text{حجم وزن مشخص از مخلوط اولیه} - \text{حجم وزن مشخص از بستنی})}{\text{حجم وزن مشخص از بستنی}} \times 100 \qquad (۱)$$

اندازه‌گیری سرعت ذوب شدن

سرعت ذوب با توزین ۵۰ گرم بستنی منجمد و قرار دادن آن بر روی یک توری با ابعاد ۰/۲×۰/۲ سانتی‌متر که بر روی یک ظرف با وزن مشخص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت و هر ۱۰ دقیقه یک بار وزن ظرف و بستنی ذوب شده داخل آن یادداشت و سرعت ذوب بر حسب گرم بر دقیقه اندازه‌گیری شد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

اندازه‌گیری پارامترهای بافت

بافت بستنی پس از ۳ روز نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه بافت‌سنج Texture analyzer, Brookfield مورد آزمایش قرار گرفت. این دستگاه مجهز به یک پروب استوانه‌ای با قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر بود. پروب دستگاه دوبار با سرعت ۱ میلی‌متر در ثانیه و تا ۵۰٪ ارتفاع پروب به نمونه مورد آزمایش وارد و نتایج توسط نرم‌افزار دستگاه ثبت شد. داده‌های مورد استفاده از بررسی بافت بستنی در این تحقیق شامل موارد سفتی و چسبندگی بود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

ارزیابی حسی فرمول‌های بهینه بستنی

ویژگی‌های حسی از جمله عطر و طعم ، بافت (سفتی)، پس‌طعم (قابض و گس بودن)، رنگ (کدورت) و پذیرش کلی (معدل امتیازات حسی) نمونه‌های بستنی نیز با استفاده از ۲۰ ارزیاب حسی آموزش دیده و بر پایه آزمون هدونیک هفت نقطه‌ای (نمره بالاتر به معنای کیفیت بالاتر) یک روز پس از تهیه بستنی برای نمونه کنترل و دو فرمول بهینه تعیین شد (افخمی و همکاران ، ۲۰۱۹).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

با توجه به درصدهای به‌دست آمده از آزمون‌های تولید اولیه، حد بالا و پایین متغیرها به‌دست آمدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۹ روش سطح پاسخ[۱] در قالب طرح مرکب مرکزی[۲] با میزان α برابر ۲ و با ۶ نقطه مرکزی برای آن انتخاب شد. تعیین شرایط عملیاتی بهینه برای دستیابی به بهترین پاسخ‌ها با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی[۳] انجام شد. در این تکنیک فضای پاسخ با استفاده از مدل‌های ایجاد شده و به‌منظور یافتن بهترین شرایطی که اهداف بهینه‌سازی مورد نظر را برآورده کند، صورت گرفت. پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد، ضریب تغییرات و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده کم، ضریب تبیین بالا، ضریب تبیین اصلاح شده بالا، دارای مدل معنی‌دار ($p < 0.05$) و فقدان برازش غیرمعنی‌دار ($p > 0.05$) باشد.

نتایج و بحث

به‌منظور به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (تغییرات حجم، سرعت ذوب، سفتی و چسبندگی بافت) ابتدا رابطه‌های چندجمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوریلی (تعاملی)، درجه دو و درجه سه بر داده‌های به‌دست آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. لازم به ذکر است از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار

۱ Response Surface Methodology
۲ Central composite Design
۳ Optimization Numerical

نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد.

جدول ۲- آزمایشات ارائه شده توسط نرم‌افزار با استفاده از طرح RSM

ردیف	جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (٪)	روغن هیدروژنه گیاهی (٪)	صمغ پانیسول (٪)
۱	۰	۶/۵	۰/۴۵
۲	۰	۶/۵	۰/۴۵
۳	۲۵	۷/۵	۰/۳۵
٤	۲۵	۵/۵	۰/۳۵
٥	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
٦	۲۵	۷/۵	۰/۳۵
۷	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
۸	۲۵	۷/۵	۰/۵۵
۹	۲۵	۵/۵	۰/۳۵
۱۰	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
۱۱	۵۰	۶/۵	۰/۶۵
۱۲	۵۰	۶/۵	۰/۲۵
۱۳	۵۰	۶/۵	۰/۶۵
١٤	۵۰	۴/۵	۰/۴۵
١٥	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
١٦	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۱۷	۵۰	۶/۵	۰/۲۵
۱۸	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۱۹	۵۰	۴/۵	۰/۴۵
۲۰	۵۰	۸/۵	۰/۴۵
۲۱	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۲۲	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۲۳	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
٢٤	۵۰	۸/۵	۰/۴۵
٢٥	۷۵	۷/۵	۰/۵۵
٢٦	۷۵	۷/۵	۰/۵۵
۲۷	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۲۸	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۲۹	۷۵	۵/۵	۰/۳۵
۳۰	۷۵	۷/۵	۰/۳۵
۳۱	۷۵	۷/۵	۰/۳۵
۳۲	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۳۳	۱۰۰	۶/۵	۰/۴۵
۳۴	۱۰۰	۶/۵	۰/۴۵

نتایج نشان داد مدل مناسب و منتخب برای پیشگویی تغییرات حجم، سفتی و چسبندگی در اثر متغیرهای مستقل مورد بررسی (شامل: جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و سطوح مختلف صمغ پانیسول)، مدل خطی درجه دو با ضریب تبیین ۰/۹۳، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۹ و ضریب تغییرات ۹/۱۹ برای تغییرات حجم، ضریب تبیین ۰/۷۸، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۷ و ضریب تغییرات ۱/۳۷برای سفتی و ضریب تبیین ۰/۸۲، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۷۵ و ضریب تغییرات ۱۳/۴۵ برای چسبندگی گزارش گردید. در حالی که مدل مناسب و منتخب برای پیشگویی سرعت ذوب در اثر متغیرهای مستقل مورد بررسی، مدل خطی درجه سه با ضریب تبیین ۰/۹۹، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۹۹ و ضریب تغییرات ۱/۰۸ پیشنهاد گردید. نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و صمغ پانیسول بر متغیرهای پاسخ (تغییرات حجم، سرعت ذوب، سفتی و چسبندگی بافت)

منبع تغییرات	تغییرات حجم (درصد)			سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)			سفتی (گرم)			چسبندگی (گرم ثانیه)		
	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F
مدل	۶	۷۵۲/۳۲	<۰/۰۰۰۱***	۱۰	۰/۲۱	<۰/۰۰۰۱***	۳	۰/۰۱۶	<۰/۰۰۰۱***	۴	۹۸/۹۳	<۰/۰۰۰۱***
A	۱	۱۸۶/۳۲	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۳۴	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۵	<۰/۰۰۰۱***	۱	۹۱/۵۵	<۰/۰۰۰۱***
B	۱	۱/۵۶	۰/۴۶۱۷^{ns}	۱	۰/۰۱۱	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	–	–	–
C	۱	۵/۸۳	۰/۱۶۱۵^{ns}	۱	۱۰-۶	۰/۸۹۸^{ns}	–	–	–	–	–	–
AB	۱	۱۰/۷۹	۰/۰۵۹۴^{ns}	۱	۰/۰۰۷۴۴	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	–	–	–
AC	۱	۰/۶۵	۰/۶۳۴۳^{ns}	۱	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۲۲**	–	–	–	۱	۳/۹۲	۰/۰۶۶^{ns}
BC	۱	۱۲۲/۳۹	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۴	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	۱	۳/۴۲	۰/۰۸۴۸^{ns}
A^2	۱	۴۴۵/۹۳	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۵۶	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۰۲۰۴	۰/۰۰۸۵**	۱	۲۰/۴۱	۰/۰۰۰۲***
B^2	۱	۱۶۰/۵۹	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۳۹	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	–	–	–
C^2	۱	۲۲۸/۹۲	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	۱	۰/۰۰۰۷۷۳	۰/۰۹۲۴^{ns}	–	–	–
ABC	–	–	–	۱	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۱۳۶*	–	–	–	–	–	–
A^2C	–	–	–	۱	۰/۰۰۰۴۴	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	–	–	–
AB^2	–	–	–	۱	۰/۰۰۴۷۲	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–	–	–	–
باقی مانده	۲۵	۶۹/۱۸	–	۲۱	۰/۰۰۱۱۹	–	۲۸	۰/۰۰۷۱۲	–	۲۷	۲۸/۸۲	–
عدم برازش	۷	۲۸/۵۳	۰/۱۴۸ ^{ns}	۳	۰/۰۰۱۵	۰/۴۷۴۲ ^{ns}	۱۰	۰/۰۰۲۶۴	۰/ ۴۳۷ ^{ns}	۹	۱۲/۱۵	۰/ ۲۳۷۱ ^{ns}
خطای کل	۱۸	۴۰/۶۵	–	۱۸	۰/۰۰۱۰۴	–	۱۸	۰/۳۰۰۴۴۸		۱۸	۱۶/۶۷	–
کل	۳۱	۸۱۳/۵۴	–	۳۱	۰/۲۱	–	۳۱	۰/۰۲۳	–	۳۱	۱۲۷/۷۵	–

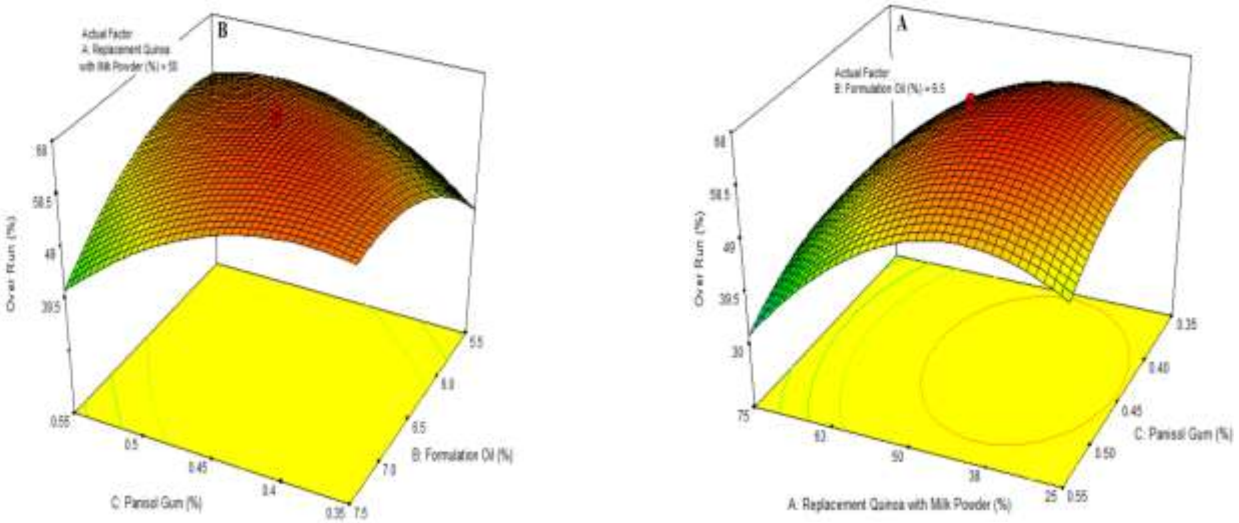
A (درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی)، B (درصد روغن هیدروژنه گیاهی) و C (درصد صمغ پانیسول)، خطوط تیره در جدول نشان دهنده‌ی بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

تغییرات حجم

با توجه به نتایج جدول ۳، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر متقابل سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول و سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی و اثر مجذور سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول بر فاکتور تغییرات حجم معنی‌دار بود

(P<۰/۰۰۱). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی تا حدود ۴۰ درصد و افزایش درصد صمغ پانیسول تا حدود ۰/۵ درصد مقدار تغییرات حجم افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد.

کاهش تغییرات حجم نمونه بستنی با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا را می‌توان به افزایش ویسکوزیته مخلوط اولیه بستنی نسبت داد. در واقع با افزایش ویسکوزیته، به دلیل کاهش توانایی هم‌زدن مخلوط بستنی، امکان ورود هوا به مخلوط بستنی‌های حاوی آرد کینوا طی انجماد کاهش یافته است. همچنین می‌توان علت کاهش میزان تغییرات حجم بستنی در اثر افزایش درصد جایگزینی آرد کینوا را به توانایی جذب آب بالای کینوا نسبت داد (گلروس و همکاران، ۲۰۰۱). آکسون (۲۰۰۹) اذعان داشت که افزودن ریز جلبک اسپیرولینا به بستنی موجب می‌شود تا در طول فرایند هموژنیزاسیون، حجم کف مخلوط بستنی افزایش یابد. به‌طورکلی، استفاده از جایگزین کننده‌های غنی از پروتئین به بستنی می‌تواند باعث افزایش حجم کف و حجم هوای به‌دام افتاده در داخل مخلوط بستنی و همچنین بهبود هوادهی گردد. از آنجایی که آرد کینوا همانند اسپیرولینا از محتوی بالای پروتئین برخوردار است، استفاده از آن در فرمول بستنی سبب بهبود تغییرات حجم بستنی گردیده است.

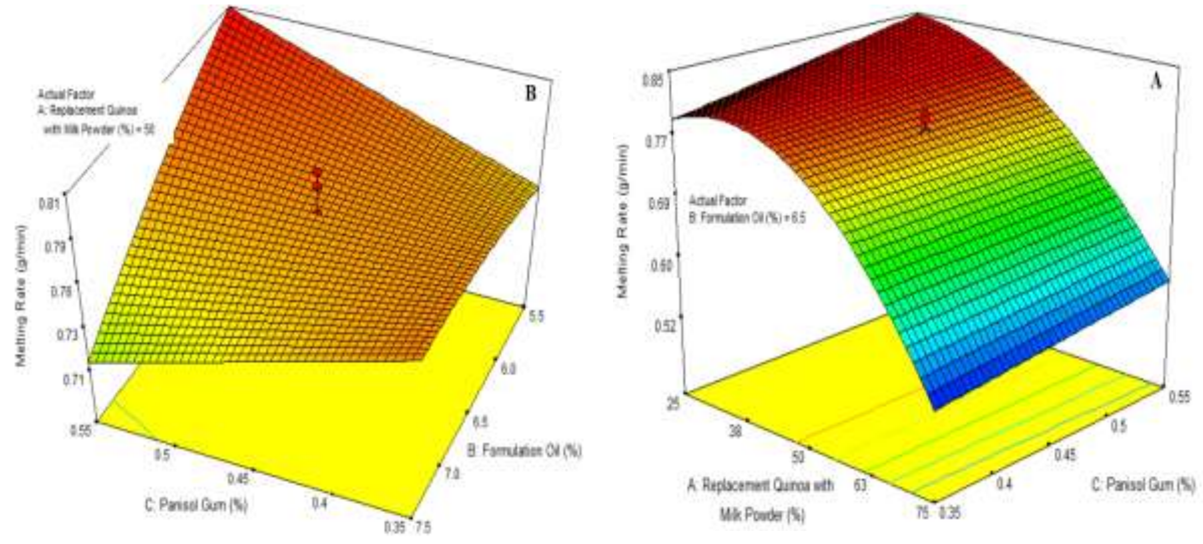


شکل ۱- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و درصد صمغ پانیسول (A) و اثر متقابل درصد صمغ پانیسول و درصد روغن هیدروژنه گیاهی (B) بر میزان تغییرات حجم بستنی

سرعت ذوب

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر مستقل سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، اثر متقابل سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی و سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، بر سرعت ذوب بستنی معنی‌دار بود (P<۰/۰۰۱). همچنین اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول بر سرعت ذوب معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر میزان سرعت ذوب بستنی وانیلی در شکل ۲ نشان داده شده است. افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا منجر به کاهش سرعت ذوب نمونه‌های بستنی شد.

نمونه‌های بستنی حاوی سطوح بالاتر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، با قدرت جذب آب بالا و افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی، آب آزاد کمتر و زمان بیشتری برای ذوب داشتند. علت کاهش سرعت ذوب شدن بستنی با افزایش درصد جایگزینی آرد کینوا، را می‌توان به وجود ترکیبات پلی‌ساکاریدی (۵۴/۱ تا ۶۴/۲ درصد) با قدرت جذب آب بالا نسبت داد که موجب افزایش شدت جذب آب محصول و ویسکوزیته و به دنبال آن کاهش افزایش حجم شدند(Keskin and Evlice, 2015). از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ذوب شدن افزایش تغییرات حجم است (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). به علاوه، نقش آرد کینوا در ارتباط با افزایش مقاومت به ذوب بستنی را می‌توان به نوع پروتئین‌های موجود در آن، توان امولسیفایری و خصوصیات فعال سطحی پروتئین‌ها و چربی‌های آن نسبت داد (میرچولی برازقان، ۱۳۹۰). حضور مقادیر بالای پروتئین در آرد کینوا تأثیر به‌سزایی در پایدار شدن مولکول‌های هوا دارد.



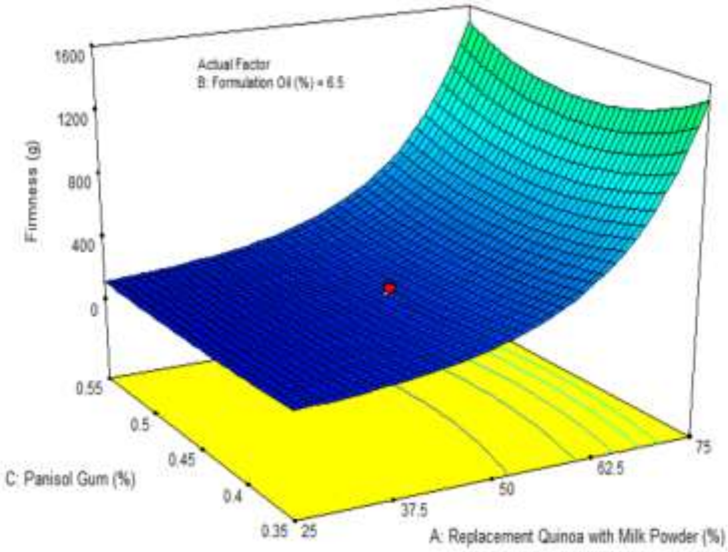
شکل ۲- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول (A) و اثر متقابل درصد صمغ پانیسول و درصد روغن هیدروژنه گیاهی (B) بر سرعت ذوب

در همین راستا، مالیک و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با جایگزینی پایدارکننده‌ها با اسپیرولینا در بستنی مقاومت به ذوب بستنی بهبود می‌یابد و این امر به‌دلیل محتوی بالای پروتئین اسپیرولینا می‌باشد که با کمک کردن به پایدار شدن مولکول‌های هوا موجب افزایش مقاومت به ذوب بستنی می‌گردد. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که بستنی‌های با افزایش حجم بالاتر، دیرتر ذوب می‌شوند و دلیل آن می‌تواند وجود مقدار بیش‌تر هوا در این نمونه‌ها باشد زیرا هوا عایق خوبی است که سرعت انتقال حرارت را در بستنی‌های با تغییرات حجم بالاتر، کاهش می‌دهد (سوفیجان و هارتل، ۲۰۰۴). سایر محققان نیز گزارش کردند که حضور پلی‌ساکاریدها در بستنی، ویسکوزیته را افزایش و سرعت ذوب شدن را کاهش می‌دهد (سگال و گف، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش‌های الناگار و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که حضور اینولین در بستنی ممکن است به عنوان یک پایدارکننده عمل کند، زیرا به‌دلیل داشتن ظرفیت جذب آب موجب کاهش حرکت آزادانه مولکول‌های آب شده و در نتیجه موجب کاهش ویژگی‌های ذوب نمونه‌های بستنی شده است. فرجی و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند که با افزایش درصد جایگزینی شکر با شیره انگور در بستنی، شدت ذوب نمونه‌ها کاهش یافت. آنها علت این امر را ناشی از وجود ترکیبات پلی‌ساکاریدی با قدرت جذب آب بالا دانستند. سوکولیس و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی تأثیر صمغ‌های زانتان، گوار، سدیم آلژینات و کربوکسی متیل سلولز نتایج خود را مبنی بر کاهش سرعت ذوب بستنی با افزایش غلظت این هیدورکلوئیدها بیان و دلیل را ویسکوزیته و تغییرات حجم بالای بستنی حاوی صمغ‌ها نسبت به نمونه شاهد عنوان کردند.

سفتی

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه شده برای پیش بینی اثر متغیرهای آزمایش بر سفتی بافت مناسب می‌باشد. اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا ($P<۰/۰۰۱$) و اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا بر سفتی بافت معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی سفتی بستنی افزایش می‌یابد. در سطوح پایین‌تر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، روند تغییرات مقدار سفتی با کاهش صمغ پانیسول خطی یکنواخت است. در سطوح بالاتر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، با کاهش صمغ پانیسول مقدار سفتی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

افزایش سفتی بستنی با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی را می‌توان با بالا رفتن زیاد ویسکوزیته مرتبط دانست. به‌نظر می‌رسد که افزایش مقدار ویسکوزیته تا حد مشخصی توانسته باعث کاهش مقدار سفتی بافت شود و افزایش بیشتر ویسکوزیته به‌دلیل کاهش تغییرات حجم موجب افزایش سفتی بافت بستنی شده است. بخش مهمی از آب موجود در ماده غذایی متصل به عواملی همچون گروه هیدروکسیل در پلی‌ساکاریدها و گروه‌های آمین و کربونیل در پروتئین‌ها از طریق پیوندهیدروژنی می‌باشد. میزان فعالیت آبی و آب غیرقابل انجماد، بر حسب میزان پروتئین موجود در نمونه، که نقش مهمی در جذب آب دارد، از یک ماده به ماده دیگر فرق می‌کند (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۳- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر سفتی

از آنجایی که آرد کینوا دارای مقادیر بالایی پروتئین است، این بخش پروتئینی آرد از طریق پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های آمید- هیدروکسیل و هیدروکسیل- کربونیل با گروه‌های قطبی سایر اجزای فرمولاسیون بستنی نظیر صمغ پانیسول موجب افزایش سفتی بستنی گردیده است. به‌علاوه احتمال تشکیل پیوندهای هیدروژنی، ناشی از تعامل‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های باردار پروتئین آرد کینوا با بخش باردار صمغ پانیسول، به‌عنوان یک ترکیب امولسیفایر و پایدارکننده با بار الکتریکی منفی، دارای مخلوطی از مونو و دی‌گلیسرید، سلولز، صمغ گوار و کاراجینان (Gheisari *et al.*, 2016) ، وجود دارد، که این عامل نیز می‌تواند دلیلی بر افزایش سفتی بستنی در حضور آرد کینوا باشد (فاطمی، ۲۰۰۸). حضور آرد کینوا تا سطوح ۲۵ درصد در فرمول بستنی با افزایش ویسکوزیته فاز سرمی تا حد مشخص و کاهش تحرک مولکول‌های آب و ایجاد خاصیت ژله‌ای توانسته از تشکیل کریستال‌های بزرگ یخ و در نهایت افزایش سفتی بافت بستنی جلوگیری کند. سوکولیس و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر صمغ‌های مختلف اعلام نمودند که افزایش غلظت صمغ زانتان و گوار سبب کاهش مقدار سفتی بستنی می‌شود. آنها دلیل کاهش سفتی بافت را حبس مولکول‌های آب و توانایی کنترل کریستالیزاسیون در حین انجماد توسط هیدروکلوئیدها و افزایش مقدار تغییرات حجم بیان کردند.

چسبندگی

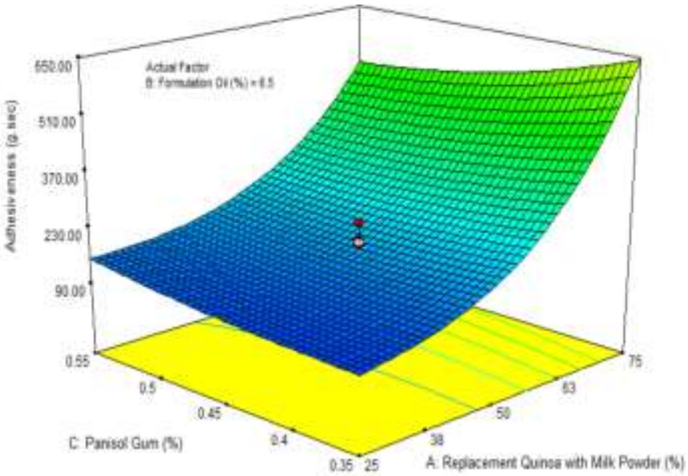
مطابق با نتایج جدول ۳، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا و اثر درجه دوم جایگزینی آرد کینوا بر چسبندگی بافت معنی‌دار بود (P<۰/۰۰۱). با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی مقدار چسبندگی افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل مشخص است، کاهش صمغ پانیسول اثر معنی‌داری بر میزان چسبندگی نمونه‌های بستنی نداشته و روند تغییرات چسبندگی خطی یکنواخت می‌باشد (شکل ۴).

آرد کینوا به‌واسطه داشتن شمار زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار خود، سبب حفظ و جذب مولکول‌های آب می‌شود (داویدو و همکاران، ۱۹۹۶). در واقع توانایی بالای جذب آب کینوا بدلیل حضور، فیبرهای نامحلول در آب آن می‌باشد، که اجازه تعامل بیش‌تر به آب از طریق پیوندهای هیدروژنی می‌دهد (گلروس و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین، آرد کینوا با داشتن گروه‌های قطبی، آب موجود در فرمولاسیون را در ساختار خود به دام انداخته و در نهایت منجر به افزایش انسجام و چسبندگی بستنی می‌شود. این احتمال نیز وجود دارد که بخش پروتئینی آرد کینوا از طریق پیوند هیدروژنی و تعامل‌های یون- دوقطبی و دو قطبی- دو قطبی با مولکول‌های آب موجود در نمونه اتصال برقرار کرده و از این طریق موجب کاهش فعالیت آب و افزایش چسبندگی نمونه می‌گردد (فاطمی، ۲۰۰۸).

بهینه‌یابی

شرایط بهینه برای تولید بستنی وانیلی به کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی با استفاده از روش بهینه‌یابی عددی انجام شد. در جدول ۴ دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و و هدف آن مشخص شده است. در نهایت نتیجه به‌دست آمده برای بهینه‌یابی به صورت جدول ۵ بود که در زیر نشان داده شده است. نتایج بهینه پیشنهادی (پیشگویی) نرم‌افزار شامل فرمول بهینه اول و دوم برای تولید بستنی به‌ترتیب شامل ۲۵ و ۵۳ درصد

جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ و ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و درصد پانیسول ۰/۳۹ و ۰/۴۸ درصد با نتایج واقعی در روز اول تولید بستنی توسط آزمون t-test جفت شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (p<۰/۰۵).



شکل ٤- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر چسبندگی

جدول ٤- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌یابی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ‌ها	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (٪)	۰	۱۰۰	is in range
روغن هیدروژنه گیاهی (٪)	۴/۵	۸/۵	is in range
صمغ پانیسول (٪)	۰/۲۵	۰/۶۸	is in range
تغییرات حجم (درصد)	۱۶	۶۷/۱۴	Maximize
سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)	۰/۷	۰/۸۱	Minimize
سفتی (گرم)	۵۵	۴۰۰	is in range
چسبندگی (گرم در ثانیه)	۴۰	۲۳۰	is in range

جدول ٥- ویژگی‌های فرمول بهینه بستنی وانیلی به کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی

	جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (٪)	روغن هیدروژنه گیاهی (٪)	صمغ پانیسول (٪)	تغییرات حجم (درصد)	سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)	سفتی (گرم)	چسبندگی (گرم در ثانیه)
مقدار بهینه ۱	۲۵	۸/۵	۰/۳۹	۵۰/۲۱	۰/۶۱	۱۰۵/۰۵	۴۰
مقدار بهینه ۲	۵۳	۸/۲	۰/۴۸	۴۰/۳۹۶	۰/۷۰	۲۷۵/۱۵۳	۲۳۰

جدول ٦- ارزیابی حسی نمونه‌های بهینه و شاهد بستنی یک روز پس از تولید

نوع بستنی	خواص حسی				
	عطر	بافت (سفتی)	پس طعم (قابض بودن)	رنگ (کدورت)	پذیرش کلی
شاهد	۶/۲۰ ±۰/۳۷ [a]	۵/۲۰ ±۰/۲۴ [b]	۶/۰۵ ±۰/۵۶ [a]	۶/۲۰ ±۰/۵۲ [a]	۶/۱۲ ±۰/۵۶ [a]
بهینه اول	۵/۹۰±۰/۵۴ [a]	۶/۲۰ ±۰/۲۵ [a]	۵/۳۵ ±۰/۲۳ [b]	۶/۱۵ ±۰/۴۵ [a]	۶/۲۵ ±۰/۲۴ [a]
بهینه دوم	۶/۰۵ ±۰/۴۶ [a]	۶/۱۰ ±۰/۳۵ [a]	۵/۵۰ ±۰/۶۵ [b]	۶/۱۰ ±۰/۲۷ [a]	۵/۵۵ ±۰/۵۶ [b]

فرمول بهینه اول (۲۵ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۳۹ درصد صمغ پانیسول) و فرمول بهینه دوم (۵۳ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۴۸ درصد صمغ پانیسول)

آنالیز حسی نمونه‌های بهینه بستنی

ارزیابان حسی خواص حسی بستنی‌های شاهد و بهینه را مطابق با جدول ۶ بیان کردند. اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های بهینه از نظر عطر و طعم و رنگ دیده نشد ($p<0/05$)، در حالی که از نظر سفتی بافت و پس طعم و پذیرش کلی دیده شد ($p>0/05$). نتایج نشان داد که جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی تا سطح ۲۵ درصد هیچ‌گونه تاثیر منفی بر روی امتیاز ارزیابان حسی نداشت خصوصا روی پذیرش کلی که می‌تواند مشابه با نمونه شاهد باشد ($p>0/05$).

نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهده عدم اختلاف معنی‌دار پاسخ‌های پیش‌گویی شده توسط برنامه سطح پاسخ و نتایج واقعی (آزمایشگاهی) توسط آزمون t-test جفت شده، کارآیی مناسبی برای پیش‌بینی و بهینه‌یابی پارامترهای مورد ارزیابی وجود داشت. فرمول بهینه اول (۲۵ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۳۹ درصد صمغ پانیسول) و فرمول بهینه دوم (۵۳ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۴۸ درصد صمغ پانیسول) پیشنهاد گردید. در مجموع آرد کینوا به دلیل داشتن مقادیر بالای پروتئین و فیبر رژیمی و هم‌چنین ویژگی‌های منحصر به فرد نظیر قدرت جذب و نگهداری آب بالا و ظرفیت امولسیفایری می‌تواند موجب بهبود خواص فیزیکی و بافتی از جمله سفتی و چسبندگی، تغییرات حجم و مقاومت به ذوب بستنی گردد.

منابع

Adapa, S. Dingeldein, H. Schmidt, K.A. Herald, T.J. 2000. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. *Journal of Dairy Science*, 83(10): 2224-2229.

Afkhami, R. Goli, M. Keramat, J. 2019. Loading lime by-product into derivative cellulose carrier for food enrichment. *Food Science and Nutrition*, 7: 2353- 2360.

Akesowan, A. 2009. Influence of soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. Thai Journal of Agricultural Science, 42(1), 1-6.

Codină, G.G. Franciuc, S.G. Mironeasa, S. 2016. Rheological characteristics and microstructure of milk yogurt as influenced by quinoa flour addition. *Journal of Food Quality*, 39(5): 559-566.

Dervisoglu, M. Yazici, F. Aydemir, O. 2005. The effect of soy protein concentrates addition on the physical, chemical, and sensory properties of strawberry flavored ice cream. *European Food Research and Technology*, 221(3): 466-470.

El-Nagar, G. Clowes, G. Tudorică, C.M. Kuri, V. Brennan, C.S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. International *Journal of Dairy Technology*, 55(2): 89-93.

Fatemi, H. 2008. Food Chemistry. Tehran Publishing Corporation. 1: 12-25.

Gelroth, J. and Ranhotra, G.R. Dreher, M.L. 2001. Handbook of dietary fiber.

Gheisari, H.R. Ahadi, L. Khezli, S. Dehnavi, T. 2016. Properties of ice-cream fortified with zinc and *Lactobacillus case.* Acta Scientiarum Polonorum, *Technologia Alimentaria*, 15(4): 367-377.

Hashemi, M. Gheisari, H. Shekarforoush, S. 2015. Evaluation of physicochemical, textural and sensorial characteristics of low-fat or low-sugar synbiotic ice-cream. *Journal of food hygiene*, 2(18): 71-81.

James, L.E.A. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. Advances in food and nutrition research, 58: 1-31.

Keskin, S. Evlice, K.A. 2015. Use of Quinoa in Bakery Products. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 24(2), 150-156.

Mahdian, E. Mazaheri, T.M. Shahidi, F. 2011. Evaluation of the effect of soy flour on rheological properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 8(31): 107-114.

Malik, P. Kempanna, C. Aman, P. 2013. Quality characteristics of ice cream enriched with Spirulina powder. *International Journal of Food and Nutrition Science*, 2(1): 44-50.

Mirchouli Barazegh, A.R. Mazaheri Tehrani, M. 2011. Investigating the effect of substituting whole total solid of ice cream with almonds on its physical and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology Research*, 3(1): 20-26.

Muse, M.R. Hartel, R.W. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. Journal of dairy science, 87(1): 1-10.

Rasouli, F. Berenji, S., Shahab, L.A., 2017. Optimization of traditional Iranian ice cream formulation enriched with spirulina using response surface methodology. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(3): 15-28.

Ruales, J. Nair, B.M. 1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, *Willd*) seeds. *Food Chemistry*, 48: 137-143.

Salimpour Erdi, M. Khoshkhoo, Zh. Emtiazjoo, M. 2019. The investigation of production of ice cream containing *Dunaliella salina* alga powder. *Food Science and Technology*, 90(16): 271-282.

Sofjan, R.P. Hartel, R.W. 2004. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14(3): 255-262.

Soukoulis, C.H. Chandrinos, I. Tzia, C. 2008. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream, *LWT. Food Science and Technology*, 41: 1816-1827.

Zhang, B. Deng, Z. Tang, Y. Chen, P. Liu, R. Ramdath, D.D. Liu, Q. Hernandez, M. Tsao, R. 2014. Fatty acid, carotenoid and tocopherol compositions of 20 Canadian lentil cultivars and synergistic contribution to antioxidant activities. *Food chemistry*, 161: 296-304

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 273- 285

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۲۸۵-۲۷۳

Optimization of Vanilla Ice Cream Formula by Replacement of Skim Milk Powder with Quinoa Flour by Response Surface Methodology (RSM)

D. Hami[1], M. Goli[2*]

Received: 2019.11.02
Accepted: 2020.06.02

Introduction: Ice cream contains a mixture of milk components, sweeteners, stabilizers, emulsifiers, and flavorings. The quality of the finished product depends not only on the processing conditions or the freezing efficiency, but also on the constituents, the amount of entrapped air, and the number of ice crystals. The physical structure of ice cream has a significant effect on the melting properties (melting rate) and texture (hardness) of ice cream (Mouse & Hartel, 2004). The improvement and expansion of the ice cream structure are attributed to the macromolecules present in the ice cream mixture; milk fat, protein, and carbohydrates (Adapa et al., 2000). Quinoa as a high biologically valuable protein can be used in various food products to enrich and positively affect the physical and sensory properties of the product (James, 2009). The purpose of the present study was to replace skim milk powder with quinoa flour (0 to 100%), hydrogenated vegetable oil (4.5 to 8.5%) and Panisol gum (0.25 to 0.65%) to obtain the optimal formulas of Vanilla ice cream using the response surface methodology.

Materials and Methods: After adjusting the ratio of the ingredients in the various ice cream formulations, the amount of raw material of each formula was weighed. The milk was then heated to about 45 ° C, and then the remaining ingredients were slowly added and thoroughly mixed. The mixture was then pasteurized at 85 °C for 15 minutes. After the pasteurization operation, the mixture was immediately kept in a water−ice bath and cold down for 4 hours in a 4 °C refrigerator. After the ripening step, the mixture went through the freezing phase in a homemade ice cream maker. The ice cream samples were packed in plastic containers and stored at -18 °C for the period of hardening. To optimize the process conditions, the independent variables A (quinoa flour replacement from 0 to 100%), B (hydrogenated vegetable oil from 4.5 to 8.5%) and C (Panisol gum from 0.25 to 0.65%) were selected at five levels. To obtain optimal points, 34 experiments were recommended by design expert software. The volumetric overrun (%) and the melting rate (g/min.) were measured according to Hashemi et al., (2015) method. Ice cream textural properties were tested after 3 days storage at -18 °C using a Brookfield texture analyzer. It was equipped with a cylindrical probe with a diameter of 6 mm and a height of 15 mm. The probe was applied to the test samples twice at a speed of 1 mm / s and up to 50% of the probe height and the results were recorded by device software. Ice cream textural data used in this study included hardness (g) and adhesiveness (g. sec) (Hashemi et al., 2015).

Results and Discussions: Reducing overrun of ice cream samples by increasing the replacement levels of quinoa flour can be attributed to an increase in the viscosity. As viscosity increases, due to the reduced mixing ability of the ice cream mixture, the ability of air to enter the mixture of ice cream containing quinoa flour has been reduced during freezing (Gelroth et al., 2001). The reason for the decrease in the melting rate of ice cream with increasing percentage of quinoa flour replacement can be attributed to the existence of polysaccharide compounds with high water holding capacity, which led to increase the product water intake intensity and viscosity and subsequently decreasethe overrun. One of the factors affecting the melting properties is the increase in volume. In addition, the role of quinoa flour in enhancing the melting resistance of ice cream can be attributed to the type of protein content, the emulsifier potential and the surface active properties of its proteins and lipids. The presence of high amounts of protein in quinoa flour has a significant effect on the stability of air molecules. Since quinoa flour contains high amounts of protein, this fraction of flour quinoa protein, increases the hardness of ice cream through creating hydrogen bonds between the amide-hydroxyl and hydroxyl-carbonyl groups with other polar groups of other ice cream components such as panisol gum. In addition, hydrogen bonds are likely to be formed by electrostatic interactions between the quinoa protein groups of the polar with the polar part of the gum panisol, which may also be the reason for the increased hardness of the ice cream in the presence of the quinoa flour. With polar groups, quinoa flour traps the water in its structure and ultimately increases the

1. Msc. Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
(*Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

consistency and adhesiveness of the ice cream. It is also possible that the protein portion of quinoa flour binds to the water molecules present in the sample through hydrogen bonding and ion-dipole and dipole-dipole interactions, thereby reducing water activity, increasing sample adhesiveness (Fatemi, 2008).

The optimal formulas were predicted for replacement of skim milk powder with quinoa flour at 25 and 53%, hydrogenated vegetable oil 8.5 and 8.2% and panisol gum 0.39 and 0.48%, respectively.

Keywords: Panisol gum, Hydrogenated vegetable oil, Overrun, Textural properties, Melting rate, Sensory evaluation